

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
28/10/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
Oct. 28, 2024

AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS

**ESTIMATIVA DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA E SUA RELAÇÃO
COM O SISTEMA DE DEFESA ANTIOXIDATIVO**

Botucatu

2022

AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS

**ESTIMATIVA DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA E SUA RELAÇÃO
COM O SISTEMA DE DEFESA ANTIOXIDATIVO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Agricultura).

Orientadora: Dra. Maria Márcia Pereira Sartori.

Coorientador: Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva.

Botucatu

2022

S237e Santos, Amanda Rithieli Pereira dos

Estimativa da longevidade de sementes de soja e sua relação com o sistema de defesa antioxidativo / Amanda Rithieli Pereira dos Santos. -- Botucatu, 2022
102 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu

Orientadora: Maria Márcia Pereira Sartori

Coorientadora: Edvaldo Aparecido Amaral da Silva

1. longevidade de sementes. 2. sistema de defesa antioxidativo. 3. deterioração. 4. sementes de soja. 5. armazenamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTIMATIVA DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA E SUA RELAÇÃO COM O SISTEMA DE DEFESA ANTIOXIDATIVO

AUTORA: AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS

ORIENTADORA: MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI

COORDENADOR: EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Pesquisadora Dr.^a MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. ANDERSON RODRIGO DA SILVA (Participação Virtual)
Agronomia / Instituto Federal Goiano

Profa. Dra. RUTE QUELVIA DE FARIA (Participação Virtual)
Campus Urutaí / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Prof.^a Dr.^a KARINA RENOSTRO DUCATTI (Participação Virtual)
Campus Nova Andradina / Instituto Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. CLÁUDIO JOSÉ BARBEDO (Participação Virtual)
Centro de Pesquisas - Núcleo de Conservação da Biodiversidade / Instituto de Pesquisas Ambientais

Botucatu, 27 de abril de 2022

*A minha amada mãe, Edeni,
carinhosamente chamada de onçona,
minhas irmãs oncinhas, meu noivo
amado e meus amados sobrinhos
João Gabriel, André Luiz,
Marianny e Pedro Bruno.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela graça de poder viver essa oportunidade, a ti, toda honra e glória.

À Santa Maria pela proteção diária.

Aos meus amados pais Edeni Pereira da Silva Nascimento e Marcus Vinicius Rodrigues do Nascimento (*in memoriam*), às minhas irmãs Stephanny Di Anny P. dos Santos e Renata Ohana P. dos Santos, à minha Tia Valdeni, por todo apoio e amor.

Ao meu noivo Álvaro Oliveira, por todo amor, cuidado, paciência e por dividir essa jornada linda da vida comigo.

Ao grupo do Laboratório de Análises de Sementes, nas pessoas de Ana Carolina Petronilio, Carolina P. Cardoso Carvalho, Dennis Souza, Gustavo Ferreira, Samara Moreira Perissato e Yago Triboni, à cada um que contribuiu compartilhando um pouco do seu conhecimento comigo, meu muito obrigada. Em especial ao Thiago Batista Barbosa e Larissa Chamma, por toda amizade, e ensinamentos compartilhados. A técnica do laboratório Valéria Cristina Giandoni, por todo o auxílio dedicado nas avaliações.

Ao grupo de Pesquisa Modelagem e Estatística Aplicada às Ciências Agrárias (ModelStat), pela consolidação da área e parceria em todos os trabalhos, aos estimados integrantes Brunna Rithielly Rezende, Gabriela Nunes da Piedade, Keyse Cristina Mendes Lopes, Michelane Silva Santos Lima, Mônica e Córdoba Figueroa e Pedro Moreno. Em especial à Brunna, Michelane e Gabi, vocês foram mais que colegas de doutorado, vocês foram amigas verdadeiras, que contribuíram em minha jornada acadêmica e pessoal, obrigada por tudo, por toda a dedicação e paciência nas atividades que realizamos nesses anos todos, eu amo muito vocês!

Ao Laboratório de Análises Bioquímicas – UNESP/IB, na pessoa do Prof. Dr. Fernando Broetto, por permitir a utilização da estrutura e por compartilhar conhecimento para a realização das análises dessa tese fossem realizadas. As integrantes do laboratório, Mara Lúcia Cruz de Souza e Tatiane Cristovam por auxiliarem e ensinarem com maestria como executar as análises, bioquímicas, e entender as suas cadeias de reações.

Às minhas amigas Amanda Maria de Almeida Silva, Alessandra Vieira da Silva, Mara Lúcia Cruz de Souza, Rute Quelvia de Faria, por todo o amor, pelo carinho, pelo apoio e pelas melhores companhias, obrigada por serem minha família em Botucatu. Aos

meus diversos amigos feitos em Botucatu, presentes que a pós-graduação me deram, o meu muito obrigada!

À Professora Doutora Maria Márcia Pereira Sartori, pela orientação ao longo do mestrado e doutorado, por todos os ensinamentos compartilhados sobre pesquisas de forma inovadora, estatística e matemática aplicada, pelo exemplo profissional, pessoal, pela paciência e amizade.

Ao Professor Doutor Edvaldo Aparecido Amaral da Silva, pela coorientação e suas diversas contribuições, pela paciência, atenção e visão inovadora sobre a fisiologia de sementes.

Ao Professor Doutor Anderson Rodrigo da Silva pelos ensinamentos compartilhados, paciência em solucionar diversos questionamentos, e por aceitar participar da banca de defesa. Obrigada, por tudo, você sabe quanto eu admiro você e seu trabalho.

Aos professores e pesquisadores que aceitaram participar dessa banca de defesa, por todas as contribuições realizadas para a melhoria desse texto.

Ao Pesquisador Roberto Sinício pelos esclarecimentos sobre suas metodologias para realização de parte do estudo das metodologias estudadas nesse trabalho.

A Professora Fiona H. Ray por todo o auxílio, tempo e paciência dedicados para compartilhar a importância das previsões para o monitoramento dos bancos de conservação em torno do mundo.

Aos funcionários da Pós-Graduação, Adriana, Acir, Débora, Regina e Tainan, por auxiliarem em todas as demandas com relação à pós-graduação, por todos os esclarecimentos e por toda paciência.

A funcionária do Departamento de Produção Vegetal, Eliane, obrigada por tudo.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) pela oportunidade em realizar o doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de pesquisa (Processo nº 2018/25698-4).

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse estudo.

“Life is not just about to survive.It’s about making difference!”

Emerson, K. **Lost in Space**: Infinity's Edge.
New York: Little, Brown and Company, 2020.

RESUMO

As sementes podem envelhecer de forma natural ou artificial durante o armazenamento, sendo sua viabilidade ao longo do tempo avaliada e denotada por longevidade. Durante esse processo os ciclos de reações oxidativas sugerem como as células estão se comportando diante do estresse para que ocorra a manutenção de sua vida. Assim, tão importante quanto entender como as sementes estão envelhecendo é a correta predição desse evento. De tal modo, neste trabalho o objetivo no Capítulo 1 foi de equacionar o desvio padrão da frequência (σ) de distribuição de sementes de soja durante o armazenamento em diferentes ambientes utilizando a função usual Probit, comparando-as com as funções Cauchy-Santos-Sartori-Faria (Cauchy-SSF) e Logit, na determinação do P50 e dos coeficientes da equação da viabilidade (K_E , C_W , C_H , C_Q) e determinando o modelo que permite maior precisão. No Capítulo 2, foi de compreender a deterioração e como os sistemas de defesa antioxidativo estão atuando durante o armazenamento de sementes de soja em diferentes ambientes. Para isso, 5 cultivares comerciais: BRS 6979 IPRO, 7677 RSF IPRO, 8473 RSF RR, 8579 RSF IPRO, e M7119 IPRO, foram previamente estudadas quanto à viabilidade, germinação, e teor de água durante o armazenamento nos ambientes de 15°C e 50% Umidade Relativa (UR), e 35°C e 75% UR, para a variação nas temperaturas de 30°C e 60% UR, 30°C e 70% UR, 35°C e 75% UR, 35°C e 80% UR, 42°C e 65% UR e 42°C e 70%, foram selecionadas as cultivares BRS 6979, 8473 e M7119, de acordo com o comportamento fisiológico. Para as análises bioquímicas durante o armazenamento foram coletados pontos de interesse fisiológico para avaliação de Proteína Solúvel Total (PST), Teor de Açúcar Solúvel Total (AST), enzimas relacionadas com o SRA – Sistema de Resposta Antioxidativo: Atividade da Enzima Peroxidase (POD), Atividade da Enzima Superóxido Dismutase (SOD) e peroxidação lipídica pelo Teor de Malonaldeído (MDA). As funções de Cauchy-SSF e Logit são melhores que Probit para predição do P₅₀ dos lotes para a faixa de temperatura de 15°C a 35°C em ambientes de 50% a 80% de umidade relativa do ar de armazenamento das sementes. As funções Cauchy-SSF e Logit não são recomendadas para estimação dos coeficientes de viabilidade segundo Ellis e Roberts (1980), entretanto a função de Cauchy-SSF foi a que obteve os ajustes mais precisos para esses coeficientes. Durante o armazenamento a atividade de SOD e POD não são contínuas e variam em função da resposta ao nível

de estresse do envelhecimento. Lotes de sementes de soja com alto teor de Proteína Solúvel Total podem indicar sementes com nível de envelhecimento e deterioração mais avançados. Lotes que apresentem o segundo pico do Teor de Malonaldeído acima de $105,0 \text{ nmol.g}^{-1}$ são passíveis de lotes de sementes inviáveis.

Palavras-chave: *Glycine max*; armazenamento de sementes; P₅₀; sistema antioxidativo.

ABSTRACT

Seeds can age naturally or artificially during storage, and their viability over time is evaluated and denoted by longevity. During the storage process, the cycles of oxidative reactions suggest how cells are behaving in the face of stress so that the maintenance of their life occurs. Thus, as important as understanding how seeds are aging is the correct prediction of this event. Thus, in this work the objective in Chapter 1 was to equate the standard deviation of the frequency (σ) of soybean seed distribution during storage in different environments using the usual Probit function, comparing them with the functions Cauchy-Santos-Sartori-Faria (Cauchy-SSF) and Logit, in the determination of the P50 and the coefficients of the viability equation (K_E , C_W , C_H , C_Q) and determining the model that allows greater accuracy. Chapter 2, was to understand the deterioration and how antioxidative defense systems are acting during the storage of soybean seeds in different environments. For this, five commercial cultivars: BRS 6979 IPRO, 7677 RSF IPRO, 8473 RSF RR, 8579 RSF IPRO, and M7119 IPRO, were previously studied when to viability, germination, and water content during storage in 15°C environments and 50% Relative Humidity (RH), and 35°C and 75% RH, for the variation in temperatures of 30°C and 60% RH, 30°C and 70% RH, 35°C and 75% RH, 35°C and 80% RH, 42°C and 65% RH and 42°C and 70%, cultivars BRS 6979, 8473 and M7119 were selected, according to physiological behavior. For biochemical analyses during storage, physiological points of interest were collected for evaluation of Total Soluble Protein (PST), Total Soluble Sugar Content (AST), enzymes related to SRA - Antioxidative Response System: Activity of the Enzyme Peroxidase (POD), Activity of the Enzyme Superoxide Dismutase (SOD) and lipid peroxidation by malonaldehyde content (MDA). The Cauchy-SSF and Logit functions are better than Probit for p50 prediction of lots for temperature range from 15°C to 35°C in environments of 50% to 80% relative humidity of seed storage air. The Cauchy-SSF and Logit functions are not recommended for estimating the viability coefficients according to Ellis and Roberts (1980), however, the Cauchy-SSF function was the one that obtained the most accurate adjustments for these coefficients. In the storage, the activity of SOD and POD are not continuous and vary depending on the response to the stress level of aging. The soybean seeds lots with high total soluble protein content may indicate seeds with more advanced aging and deterioration level.

Lots with the second peak of malonaldehyde content above 105.0 nmol.g⁻¹ are susceptible to unviable seed lots.

Keywords: *Glycine max.*; seed's storage; P₅₀; antioxidant system.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - CAUCHY-SSF, LOGIT PARA OTIMIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VIABILIDADE DE SEMENTES DE SOJA

- Tabela 1 - Soluções salinas utilizadas em função da temperatura e umidade relativa para obtenção dos ambiente de armazenamento36
- Tabela 2 -Definição dos tratamentos em função das Cultivares, Temperaturas (°C) e Umidade Relativa do ar (UR) estudadas37
- Tabela 3 - Funções de ligação e seus respectivos modelos.37
- Tabela 4 - Teor de água (b.u), Intervalo de Interesse Experimental para P50 (IIE50), Percentual de Contagem do IIE50 e Total de (dias) para completa perda de Primeira contagem de plântulas da germinação, Germinação e Viabilidade para os tratamentos estudados42
- Tabela 5 - Funções de Probit, Cauchy-SSF e Logit e seus respectivos valores de Ki, desvio (σ), P_{50} , Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de determinação Ajustado (R^2 Aj.), Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayseano (BIC), Durbin-Watson (D-W), Teste de Shapiro Wilk (W), para dados de Viabilidade para os tratamentos de 1 a 12 em função das Cultivares, Temperaturas (°C) e Umidade Relativa do ar estudadas.....51
- Tabela 6 - Funções de Probit, Cauchy-SSF e Logit e seus respectivos valores de Ki, desvio (σ), P_{50} , Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de determinação Ajustado (R^2 Aj.), Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayseano (BIC), Durbin-Watson (D-W), Teste de Shapiro Wilk (W), para dados de Viabilidade para os tratamentos de 13 a 23 em função das Cultivares, Temperaturas (°C) e Umidade Relativa do ar (UR) estudadas.52

CAPÍTULO 2 - METABOLISMO ANTIOXIDATIVO PARA AVALIAÇÃO DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA

- Tabela 1 - Soluções salinas utilizadas em função da temperatura e umidade relativa para obtenção dos ambientes de armazenamento.....66
- Tabela 2 - Tratamento, Código da cultivar utilizada, Temperatura (°C), Umidade Relativa do ar (%) e tempo (Dias).66
- Tabela 3 - Valores de Germinação média (%) e Viabilidade média (%) para as cultivares BRS 6979 (1), 7677 (2), 8473 (3), 8579 (4), M7119 (5), em função dos tratamentos avaliados.....70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AST	Teor de Açúcar Solúvel Total
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação de Bayseano
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
b.u	Base úmida
CAT	Atividade da Enzima Catalase
Cauchy-SSF	Cauchy-Santos-Sartori-Faria
CP	Componente Principal
EROS	Espécies Reativas de Oxigênio
MDA	Teor de Malonaldeído
PST	Proteína Solúvel Total
POD	Atividade da Enzima Peroxidase
SRA	Sistema de resposta antioxidativo
SOD	Atividade da Enzima Superóxido Dismutase
UR	Umidade Relativa do ar

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Desvio padrão da distribuição normal das mortes de sementes no tempo
\approx	Aproximadamente
R^2	Coeficiente de Determinação
R^2 Aj.	Coeficiente de Determinação Ajustado
LiCl	Cloreto de Lítio
KCl	Cloreto de Potássio
NaCl	Cloreto de Sódio
μ M	Micro Molar
mM	Mili Molar
M	Molar
IIE ₅₀	Intervalo de Interesse Experimental de P ₅₀
P ₅₀	Período para o decréscimo de 50% da viabilidade de um lote

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
CAPÍTULO 1 - CAUCHY-SSF, LOGIT PARA OTIMIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VIABILIDADE DE SEMENTES DE SOJA	31
1.1 INTRODUÇÃO.....	33
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
1.2.1 MATERIAL VEGETAL – SEMENTES.....	34
1.2.2 ANÁLISES FISIOLÓGICAS	35
1.2.2.1 TEOR DE ÁGUA.....	35
1.2.2.2 GERMINAÇÃO.....	35
1.2.2.3 ESTUDO DA LONGEVIDADE	35
1.2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	36
1.2.4 MODELOS UTILIZADOS PARA TRANSFORMAÇÃO DAS CURVAS DE SOBREVIVÊNCIA.....	37
1.2.5 EQUACIONAMENTO DO DESVIO PADRÃO DA FREQUÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES MORTAS DURANTE O PERÍODO DE ARMAZENAMENTO	37
1.2.6 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE VIABILIDADE	38
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
1.4 CONCLUSÕES.....	56
1.5 REFERÊNCIAS.....	57
CAPÍTULO 2 - METABOLISMO ANTIOXIDATIVO PARA AVALIAÇÃO DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA	61
2.1 INTRODUÇÃO.....	63
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
2.2.1 MATERIAL VEGETAL.....	64
2.2.2 ANÁLISES FISIOLÓGICAS	65
2.2.2.1 TESTE DE GERMINAÇÃO	65
2.2.2.2 ESTUDO DA LONGEVIDADE	65
2.2.3 ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	67
2.2.3.1 COLETA E ARMAZENAMENTO DO MATERIAL VEGETAL.....	67

2.2.3.2	EXTRATO BRUTO.....	68
2.2.3.3	TEOR DE PROTEÍNA SOLÚVEL TOTAL	68
2.2.3.4	ATIVIDADE DA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASE (SOD, E.C 1.15.1.1)	68
2.2.3.5	ATIVIDADE DA ENZIMA PEROXIDASE (POD, EC 1.11.1.7).....	69
2.2.3.6	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AÇÚCARES SOLÚVEL TOTAL.....	69
2.2.3.7	ESTIMATIVA DA PEROXIDAÇÃO DE LIPÍDEOS - TEOR DE MALONALDEÍDO (MDA).....	69
2.2.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	70
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
2.4	CONCLUSÕES	91
2.5	REFERÊNCIAS.....	92
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS.....	97
	APÊNDICE.....	102

INTRODUÇÃO GERAL

Longevidade, armazenamento e envelhecimento de sementes

A preservação das espécies é uma garantia de manter informações sobre nossa biodiversidade genética. Bancos de germoplasma, também denominados bancos de sementes (SOLBERG et al, 2020) são responsáveis por administrar essas coleções. Existem mais de 1750 bancos de germoplasma em torno do mundo com mais de 7,4 milhões de acessos (FAO, 2010). Sabe-se que um dos maiores desafios para a gestão dos bancos genéticos é a manutenção da boa saúde das sementes nas coleções (REDDEN; PARTINGTON, 2019). Para uma manutenção dos bancos com menor perda de biodiversidade, antes que os acessos atinjam o 85% (P_{85}) de viabilidade, (ou quando a quantidade de sementes remanescentes for inferior ao necessário para três sementeiras de uma população representativa dos acessos) (FAO, 2014), essas coleções são regeneradas.

O comportamento dos processos de deterioração e envelhecimento das sementes são importantes para se definir metodologias que permitam que a modelagem dos eventos biológicos seja matematicamente descrita, de modo que sejam definidos os melhores momentos para a regeneração de coleções com segurança e sem perdas de biodiversidade.

A longevidade de sementes é por definição o período máximo de tempo que as sementes se mantêm viáveis sob condições ideais de armazenamento para cada espécie. É a habilidade que a semente tem de estabilizar seu sistema biológico por longos períodos de tempo, no qual sua atividade metabólica é suspensa, estado vítreo, retardando-se severamente, reações de deterioração (DONA et al., 2013), sendo considerada como o maior desafio para a manutenção da biodiversidade de plantas (RAJJOU; DEBEAUJON, 2008).

A deterioração de sementes é discriminada por um conjunto em série de alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, a partir da maturidade, em ritmo progressivo, determinado e irreversível (McDonald, 1999), de queda do potencial de desempenho (germinação, vigor e longevidade) culminando com a inviabilização e até a morte da semente (MARCOS FILHO, 2015), onde diferentes espécies de

sementes têm diferentes taxas de deterioração, as diferenças em nível de deterioração que ocorrem entre e dentro delas pode variar amplamente em razão de fatores genéticos e das condições ambientais em que as sementes foram produzidas, secadas, beneficiadas e armazenadas (BEWLEY; BLACK; HOLMES, 2006).

Em sementes de soja, a longevidade é adquirida ao final do desenvolvimento das sementes, maturação tardia (LIMA, 2017), momento ao qual também são adquiridos a massa final, germinação, tolerância a dessecação e vigor (RIGHETTI et al., 2015). Durante a fase de maturação ocorre a redução natural e de forma progressiva de água pelas sementes, o que induz a formação do estado vítreo citoplasmático, matriz amorfa semelhante a um estado sólido, no qual a mobilidade e o nível de fluidez das moléculas são reduzidos, impondo um estado de quiescência e proporcionando longevidade (BUIINK; LEPRINCE, 2008). Sementes em estado de quiescência resistem às condições ambientais adversas e, no momento que forem expostas às condições adequadas e na ausência de dormência, têm a capacidade de retomada do metabolismo no processo de germinação (BEWLEY; BLACK, 1994).

A propriedade de estado vítreo ocorre em função da natureza do comportamento da água dentro das células (MARCOS FILHO, 2015), e suas reações de afinidade e repulsão com tecidos de reservas (LORINI, 2018), assim, as propriedades inerentes das sementes, como a capacidade que as sementes têm de perder e ganhar água, adquirida pelas relações de dessecação ao final da fase de maturação das sementes são fatores importantes no estudo da longevidade. Outro aspecto muito importante que deve ser observado é a longevidade natural das sementes. Esta característica, intrínseca da semente, varia entre as espécies: enquanto sementes de algumas espécies permanecem viáveis durante anos após sua maturação, outras espécies perdem rapidamente essa viabilidade (HOPPE et al., 2004). Sementes de soja são consideradas naturalmente como uma espécie de longevidade curta.

Ao final da fase de maturação das sementes, a configuração da perda de água as categoriza em sementes em ortodoxas, intermediárias e recalcitrantes (MARCOS-FILHO, 2015). Sementes ortodoxas (ou tolerantes) mantem sua viabilidade após o processo de secagem em teores de água de até 5%. Podem ser armazenadas sob baixas temperaturas por longos períodos (ROBERTS, 1973). Sementes ortodoxas aumentam sua longevidade gradativamente durante a maturação após a aquisição da tolerância à dessecação (VERDIER et al., 2013). Sementes recalcitrantes ou não

tolerantes à dessecação são sensíveis à redução excessiva do teor de água, reduzindo a viabilidade e dificultando o armazenamento por longo prazo (ROBERTS, 1973). Sementes intermediárias não seguem as classificações dos padrões de tolerantes e não tolerantes, consistem em sementes que toleram a perda de água até teores de 7 a 10% e não toleram baixas temperaturas por longos períodos, cujo comportamento durante a secagem e armazenamento apresenta características variáveis (ELLIS et al. 1990).

O teor de água das sementes é dado em função do equilíbrio das pressões de vapor do ar do ambiente e da semente, denominado de equilíbrio higroscópico. Sendo essa, a representação da igualdade de transferência de água, em forma de vapor, da semente para o ambiente ou mutuamente (CARVALHO, 2005). A pressão de vapor é influenciada pelo comportamento do ambiente, ao seu redor, relações de umidade relativa do ar e temperatura (CARNEIRO; AGUIAR, 1993). De tal modo que, o equilíbrio higroscópico é atingido com maior rapidez sob altas temperaturas (HARRINGTON, 1972; TOLEDO; MARCOS FILHO, (1977).

Em razão disto, foram criadas regras para o armazenamento, como a Regra de James, que adota que o somatório entre umidade relativa do ar (%) e temperatura (em Fahrenheit, °F) não devem totalizar mais que 100, para armazenamento comercial satisfatório (prazo médio). Enquanto, a regra de Harrington (HARRINGTON, 1972; COLVILLE, 2017) afirma que a viabilidade no armazenamento irá aproximadamente dobrar para cada diminuição de 10 °F (equivalente a 5,6 °C) na temperatura, e cada 1% de redução no teor de umidade das sementes para temperaturas entre 0 e 40 °C e teor de umidade entre 5 e 14% b.u. Ambas as regras enfatizam a importância de utilizar-se baixos teores de umidade e temperatura para o prolongamento da longevidade de sementes.

Condições eficazes para o ambiente de armazenamento de sementes compreendem na combinação de Umidade Relativa (UR) e temperatura (°C) em faixas de 10 a 50% UR e de 0 a 10°C (HARTMANN; KESTER, 1974; KANO et al., 1978). Ressalta-se que, a temperatura apropriada para o armazenamento dependerá do período de armazenamento e da espécie. Para períodos curtos são recomendadas temperaturas entre 0 e 5°C, enquanto que para longos períodos as mais recomendadas são entre -4°C e -18°C (WANG, 1977) sendo que Toledo e Marcos Filho (1977) sugerem teores de umidade para conservação de diferentes espécies

pelo período de 1 ano, entre 11 e 14%, observando-se a redução da percentagem de germinação à medida em que aumenta o teor de umidade das sementes.

Para uma longevidade maior é necessário a combinação de um armazenamento adequado, visto que ambos são complementares. Em bancos de germoplasma, o armazenamento de sementes é a preservação de sementes sob condições ambientais controladas que prolongarão a viabilidade das sementes por longos períodos (SOLBERG et al, 2020). Em níveis comerciais, o armazenamento compreende na diminuição ao máximo das taxas de deterioração até a próxima comercialização. Além de fatores que afetam a longevidade o armazenamento é influenciado pela qualidade inicial das sementes; teor de umidade da semente; tempo decorrido entre colheita e armazenamento; tratamentos fitossanitários e térmicos aplicados; tipo de embalagem; temperatura e umidade relativa de armazenamento (FLORIANO, 2004).

O armazenamento das sementes deve ser iniciado o mais próximo possível da maturidade fisiológica das sementes (CROCHEMORE, 1993). As características fisiológicas das espécies determinam a temperatura e os teores de umidade ideais para o armazenamento (HARRINGTON, 1972; CARVALHO et al., 1976; CARVALHO; NAKAGAWA, 1983; PINTO et al., 1988). Conserva-se germinação e o vigor das sementes dentro dos limites fisiológicos das espécies, por meio do armazenamento em ambiente frio e seco (HARRINGTON, 1959). Além de se considerar as condições climáticas é necessário a utilização de embalagens adequadas observando as características mecânicas das mesmas (CARVALHO E NAKAGAWA, 2000; FERREIRA; BORGHETTI, 2004; MARCOS-FILHO, 2005). Embora tudo isso, mesmo quando armazenadas em condições ideais, todas as sementes acabarão perdendo sua viabilidade (ZHANG et al., 2021).

As reações químicas são sempre dependentes do teor de água e da temperatura (SOLBERG et al, 2020). Conforme as sementes envelhecem, em algum ponto perdem sua capacidade de germinar e formar "plântulas normais", ou seja, plântulas que têm a capacidade de formar plantas viáveis. Ainda em decorrência desse envelhecimento, as membranas perdem a permeabilidade seletiva, as enzimas tornam-se menos eficientes e os cromossomos podem acumular aberrações (PRIESTLEY, 1986; SMITH, BARJARK, 1995; McDONALD, 1999).

Durante todas as fases do desenvolvimento de sementes desde a embriogênese até o armazenamento, podem ser associadas com diferentes níveis de

espécies reativas de oxigênio - EROS (BAILLY; EL-MAAROUF-BOUTEAU; CORBINEAU, 2008). As espécies reativas de oxigênio são um dos subprodutos da respiração aeróbica (BAILLY, 2004; COLVILLE, 2017). EROS em baixas concentrações nas sementes servem como importantes sinalizadoras de germinação e proteção contra patógenos (APEL e HIRT, 2004; WASZCZAK et al., 2018). A diminuição da germinabilidade é correlacionada com o aumento do acúmulo de peróxido total e conteúdo de malonaldeído, bem como a diminuição da atividade das enzimas antioxidativas peroxidase, catalase, ascorbato peroxidase, glutathione redutase e superóxido dismutase (GOEL; GOEL; SHEORAN, 2003). A produção de espécies reativas de oxigênio aumenta em resposta ao estresse ambiental (SOUZA, 2018; COLVILLE, 2017).

Equacionamento da viabilidade de sementes

Com intuito de modelar a perda de viabilidade das sementes ao longo do armazenamento, modelos foram desenvolvidos para prever a viabilidade final com base na viabilidade inicial, temperatura e teor de água umidade.

Roberts (1972) foi um dos primeiros a analisar quantitativamente os padrões de perda de viabilidade da semente durante o armazenamento, onde observou que a perda de viabilidade geralmente seguia um padrão sigmoidal e reconheceu que esse comportamento poderia estar relacionado a uma distribuição normal de vidas entre as sementes na população, no qual transformando essa curva em uma linear com modelo de probit desenvolveu as 3 primeiras relações da viabilidade e armazenamento.

A primeira relação linear predizia o período que um lote perderia 50% de sua viabilidade (P50), bem como a determinação dos coeficientes de armazenamento para cada espécie, melhorados e ampliados por Ellis e Roberts (1980) para uma ampla gama de espécies conforme equação 1.

$$v = K_i - p\left(\frac{1}{\sigma_{10}^{KE-CW \log m - CH_t - CQ_t^2}}\right)$$

Em que;

v = percentual da viabilidade das sementes em Probit, após o armazenamento no tempo p ;

p = período de armazenagem em dias;

K_i = valor de Probit da viabilidade inicial, ou seja, o ponto de interceptação do eixo das ordenadas (y) da curva de sobrevivência transformada; o que implica também dizer que, quando $p = 0$; $K_i = v$;

$1/\sigma$ = inclinação da curva de sobrevivência transformada, onde σ é o desvio padrão da frequência de distribuição das sementes mortas durante o período de armazenamento (dias);

m = grau de umidade (% , base úmida);

t = temperatura ($^{\circ}\text{C}$); e

K_E , C_W , C_H e C_Q = constantes específicas para cada espécie, independentes do genótipo e das condições de pré-armazenamento.

A partir do desvio da frequência de sementes mortas (σ) foi possível determinar os parâmetros específicos para as condições de armazenamento avaliadas e prever estendendo para maiores combinações de condições de armazenamento. Definiu-se através dessa equação o comportamento considerado como padrão, redução da viabilidade durante o armazenamento, ou que a curva de sobrevivência de todas as sementes apresentaria uma mesma inclinação. Ainda, conclui-se que a longevidade poderia ser calculada com base em três fatores únicos: o teor de água das sementes, a temperatura de armazenamento e um valor de interceptação específico do lote de sementes (ELLIS; ROBERTS, 1980).

Essa equação permitiu a predição da longevidade para uma ampla gama de mais de 53 espécies (ELLIS; HONG, 2007). Embora os coeficientes da viabilidade tenham sido introduzidos sem muitos esclarecimentos (SINÍCIO, 2004; SINÍCIO et al., 2019; SINÍCIO, 2013; SINÍCIO, 2015) e terem intervalos de confiança grandes, esta metodologia ainda é utilizada em bancos de germoplasma devido a sua simplicidade de utilização (SOLBERG et al, 2020).

Os comportamentos de diversas espécies podem não atender ao comportamento desejado para aplicação da metodologia usual, e com intuito de se estabelecer novas metodologias para assegurar a sobrevivência e a redução da vulnerabilidade à extinção de espécies, são necessárias aplicações e desenvolvimento de novas metodologias, ou utilização de novas funções aplicadas a esses comportamentos.

São relatados por diversos autores como Schneider et al. (2017), Hay, Mead e Bloomberg (2014), Hill et al., (2007), Chaves e Usberti, 2003, Tang et.al (1999), Mead e Gray (1999), restrições na utilização da função probit, tanto para a predição dos coeficientes de viabilidade para espécies diversas, como problemas na utilização do modelo em si.

Solberg et al (2020) comparando a germinação prevista com os resultados dos experimentos de longo prazo, pelo método de Ellis e Roberts (1980) observou que os valores previstos foram superiores ou muito superiores aos valores observados, o que demonstra que algo no manejo de sementes nos bancos de germoplasma pode ser melhorado.

Predição da longevidade por novas metodologias

A estimação do período de decréscimo de 50% da viabilidade (P_{50}) foi estudado pela utilização da transformação das curvas de distribuição de sementes no armazenamento por funções de ligação simétricas de Logit (FARIA et al, 2020; SARTORI et al., 2017) e Cauchy-SSF em metodologia de predição utilizando mínimos quadrados - regressão linear simples e máximo verossimilhança - modelos lineares generalizados (SANTOS et al, 2019) e funções de ligação assimétricas de Aranda-Ordaz, Complementar Log-Log, Logarítmica, Stukel, Weibull e Potência (Santos, 2018), utilizando o método de estimação de mínimos quadrados pela análise regressão linear simples. Tais funções obtiveram vantagens em relação a usual Probit para a estimação do P_{50} .

Essas funções são alternativas viáveis para a determinação do P_{50} da longevidade de sementes de soja, de forma mais assertiva, e que podem ser aplicadas a uma ampla gama de espécies, além de serem funções que sugerem estimativas mais robustas que Probit e para dados que não seguem normalidade.

A aplicação das funções Logit e Cauchy-SSF foi validada por Lima (2021) estudando a influência de sementes de soja esverdeadas para predição do P_{50} e por Lopes (2021) predizendo o P_{50} por meio de análise de parâmetros bioquímicos de sementes de soja, bem como para predição da germinação de sementes de mamona de diversos acessos (T_{50}) (SIQUEIRA, 2020).

Análises fisiológicas de sementes tem sido estudada como alternativas, relativamente mais rápidas comparadas aos experimentos de longevidade, como

testes de envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e têm sido associada para determinar o P_{50} (BATISTA et al., 2021).

A utilização de Regressão Linear Múltipla (MLR) e de Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para a predição da longevidade também foi investigada, e se mostrou eficiente predição da longevidade de sementes de soja (REZENDE, 2021), sendo utilizadas diferentes análises biométricas e fisiológicas rotineiras em laboratórios de sementes para sua predição.

Outras adaptações para o modelo de Probit (ELLIS; ROBERTS, 1980) já foram difundidas, para prever a longevidade das sementes ortodoxas que foi modificado por Sinício (2004) tornando-se um modelo de longevidade generalizado baseado na composição das sementes, no qual leva-se em consideração uma análise de erro para determinar as incertezas envolvidas no modelo de Probit em sementes de grão-de-bico, vaqueiro e soja.

Espera-se que utilização de novos modelos para determinação da longevidade implicará em equacionamentos mais robustos para além da longevidade, o desvio de morte das sementes (σ) e seus coeficientes (K_E , C_W , C_H , C_Q).

De tal modo nesse trabalho objetivo no Capítulo 1 consistiu em equacionar o desvio padrão da frequência (σ) de distribuição de sementes de soja e P_{50} durante o armazenamento em diferentes ambientes utilizando a função usual Probit, comparando-as com as funções de Cauchy-SSF e Logit, na determinação dos coeficientes K_E , C_W , C_H , C_Q e determinar o modelo que permite maior precisão. O objetivo no Capítulo 2 foi compreender a deterioração das sementes durante a longevidade antes da perda da capacidade germinativa, inviabilidade, e como os sistemas de defesa antioxidativo estão atuando durante a longevidade de sementes de soja em diferentes ambientes de armazenamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As funções de Cauchy-SSF e Logit são mais adequadas que Probit para predição do período que decresce em 50% a viabilidade (P_{50}) dos lotes para a faixa de temperatura de 15°C a 35°C em ambientes de 50% a 80% de umidade relativa do ar.

As funções Cauchy-SSF e Logit, não se mostraram adequadas para estimação dos coeficientes de viabilidade segundo a metodologia de Ellis e Roberts (1980). Sugere-se maiores estudos para o desenvolvimento de modelos generalizados para predição de viabilidade ao longo do armazenamento de sementes.

As atividades das enzimas do sistema antioxidativo não são contínuas em função do armazenamento e variam em função da resposta ao nível de estresse do envelhecimento.

As análises bioquímicas do SRA de SOD e POD, bem como os terrores de AST, MDA e PST podem auxiliar na identificação de lotes de sementes passíveis de regeneração. Lotes de sementes com alto teor de Proteína Solúvel Total podem indicar sementes com nível de envelhecimento e deterioração mais avançados, enquanto os lotes que apresentarem o segundo pico do Teor de Malonaldeído acima de 105,0 nmol.g⁻¹ são passíveis de lotes de sementes inviáveis.

REFERÊNCIAS

- APEL, K. et al. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annals Rev. Plant Biology**, 2004.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, 2004.
- BATISTA, Thiago Barbosa et al. Is it possible to estimate longevity through the analyses used to measure the initial physiological potential in soybean seeds?. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M.; HOLMES, P. The encyclopedia of seeds: science, technology and uses: technology and uses. Wallingford: CABI, 2006. p. 138-142.
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. Longevity, Storage, and Deterioration. In: Seeds. Springer, New York, NY. Cap. 8, p.341-370, 2013.
- BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. *Comptes Rendus Biologies*, Paris, v. 331, n. 10, p. 788–95, 2008.
- CARNEIRO, J.G.A.; AGUIAR, I.B. Armazenamento de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (coords.). Sementes florestais tropicais. Brasília: ABRATES, 1993. p.333-350.
- CARVALHO, Nelson Moreira de. **Secagem de sementes**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2005. 184 p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Campinas: FUNEP, 2000. 588p.
- CHAVES M.M., USBERTI, R. Previsão da longevidade de sementes de faveiro (*Dimorphandra mollis* Benth.). **Revista Brasileira de Botânica** 26: 557-564, 2003.
- COLVILLE, L.. Seed Storage. **Encyclopedia Of Applied Plant Sciences**, [S.L.], p. 335-339, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00080-0>.
- CROCHEMORE, M.L. Conservação de sementes de tremoço azul em diferentes embalagens. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v.15, n.2, p.227-232, 1993.
- DONA, M. et al. DNA profiling, telomere analysis and antioxidant properties as tools for monitoring ex situ seed longevity. **Annals of Botany**, London, v. 111, p. 987-998, 2013.
- ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 41, n. 9, p. 1167-1174, Sept. 1990.

ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, v.45, p.13-30, 1980.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (Rome: FAO), 2010.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (Rome: FAO), 2014.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.

FLORIANO, E.P. Armazenamento de sementes florestais - Caderno Didático. 1ª ed. Santa Rosa. 2004.

GOEL, Anuradha; GOEL, Ajay Kumar; SHEORAN, Inder Singh. Changes in oxidative stress enzymes during artificial ageing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. **Journal Of Plant Physiology**, [S.L.], v. 160, n. 9, p. 1093-1100, jan. 2003. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-00881>.

HARRINGTON, J. F. - Drying storage and packaging seeds to maintain, germination and vigor. Proc. Short Course for Seedsman. Seed technology Laboratory, Mississippi State, Part. II 1959.

HARRINGTON, J. F. - Seed storage and longevity. In: KOSLOWSKI, T. T. - Seed biology. New York, Academic Press, 1972. v. 3, p. 145-245.

HARTMANN, H. T. & KESTER, D. E. - **Propagacion de plantas**. México, Continental, 1974. 810 p.

HILL, H. J.; CUNNINGHAM, J. D.; BRADFORD, K.J.; TAYLOR, A.G. Primed Lettuce Seeds Exhibit Increased Sensitivity to Moisture Content During Controlled Deterioration. **HortScience** October 2007 42:1436-1439.

HONG, T.D.; ELLIS, R.H. **Tropical Tree Seed Manual**. Forest Service's, Reforestation, Nurseries, & Genetics Resources. Washington, USDA. 2003.

HOPPE, J.M. Produção de sementes e mudas florestais - Caderno Didático. 2 ed. Santa Maria. 2004.

KANO, N.K.; MARQUES, F.C.M.; KAGEYAMA, P.Y. Armazenamento de sementes de ipê-dourado (*Tabebuia* sp.). Revista: IPEF, v.1, n.17, p.12-33, 1978.

LIMA, Michelane Silva Santos. Influência do percentual de sementes esverdeadas de soja no comportamento da longevidade com diferentes ambientes de armazenamento. 2021.

LOPES, Keyse Cristina Mendes. Predição da longevidade de sementes de soja por parâmetros bioquímicos. 2021.

LORINI, Irineu. Propriedades Físicas dos grãos. In: LORINI, Irineu; MIKE, Lincoln Hiroshi; SCUSSEL, Vildes Maria; FARONI, Lêda Rita D'Antonino (ed.). **Armazenagem de Grãos**. 2. ed. Ff: Bio Geneziz, 2018. Cap. 4. 1011p..

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. 2.ed. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

McDonald, M. B. "Seed Deterioration: Physiology Repair and Assessment," **Seed Science and Technology**, Vol. 27, No. 1, 1999, pp. 177-237.

PRIESTLEY, David A. **Seed aging: implications for seed storage and persistence in the soil**. Comstock Associates, 1986.

RAJJOU, Loïc; DEBEAUJON, Isabelle. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. **Comptes Rendus Biologies**, [S.L.], v. 331, n. 10, p. 796-805, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2008.07.021>.

REDDEN, Robert; PARTINGTON, Debra. Gene bank scheduling of seed regeneration: interim report on a long term storage study. **Journal Of Integrative Agriculture**, [S.L.], v. 18, n. 7, p. 1529-1540, jul. 2019. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62730-9](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62730-9)

REZENDE, Brunna Rithielly. Métodos preditivos da porcentagem de sementes verdes e da longevidade de sementes de soja. 2021.

RIGHETTI, K. et al. Inference of Longevity-Related Genes from a Robust Coexpression Network of Seed Maturation Identifies Regulators Linking Seed Storability to Biotic Defense-Related Pathways. *The Plant Cell*, v. 27, n. October, p. tpc.15.00632, 2015.

ROBERTS, E.H. Storage environment and the control of viability. In: ROBERTS, E.H. (Ed.). *Viability of seeds*. New York: Syracuse University Press, 1972. p.14-58.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.1, n. 3, p. 499-514, 1973.

SANTOS, A. R. P.; FARIA, R. Q.; AMORIM, D. J.; SILVA, E. A. A.; SARTORI, M. M. P. Função de ligação de Cauchy para avaliação de P50 de longevidade de sementes de soja. *Caderno de Trabalhos do III Encontro Luso-Galaico de Biometria*, Aveiro – Portugal, 2018.

SANTOS, Amanda Rithieli Pereira dos et al. Cauchy, Cauchy-SSF, Logit, and Probit functions for estimating seed longevity in soybean. *Agronomy Journal*. First Look.

2019. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/first-look/pdf/agronj2018.11.0700.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2019

SARTORI, M. M. P.; CANTÃO; R. F.; FARIA, R.Q.; SILVA, E.A.A. Desenvolvimento de um software para avaliação da germinação e longevidade de sementes. Informativo Abrates. Volume 27 - nº 2, agosto de 2017.

SCHNEIDER, Cristina Fernanda et al. Equações de longevidade para sementes de pau-marfim. Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences, [s.l.], v. 60, n. 1, p.53-59, 2017. Editora Cubo Multimedia. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2259>.

SINÍCIO, R. Generalised Longevity Model for Orthodox Seeds. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 89, n. 1, p. 85-92, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.008>.

SINÍCIO, Roberto et al. Equacionamento da qualidade inicial de sementes de milho e soja para aplicação no modelo de Probit. **Rev. bras. sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 122-130, 2009.

SINÍCIO, R. Equação de longevidade para sementes de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg). **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.4, p.323-333, 2013.

SINÍCIO, Roberto. Modelamento matemático da longevidade de sementes de camu-camu. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 3, p.203-211, jun. 2015.

SIQUEIRA, Otavio Augusto Pessotto Alves. Qualidade fisiológica e sanitária de acessos de mamoneira espontânea provenientes do Acre por modelos lineares generalizados. 2020.

SOLBERG, Svein Øivind; YNDGAARD, Flemming; ANDREASEN, Christian; VON BOTHMER, Roland; LOSKUTOV, Igor G.; ASDAL, Åsmund. Long-Term Storage and Longevity of Orthodox Seeds: a systematic review. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 11, p. 1007-1007, 3 jul. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.01007>.

SOUZA, M.L.C., DA SILVA ALVES ZAPPAVIGNA STARLING, C., MACHUCA, L.M.R. et al. Biochemical parameters and physiological changes in maize plants submitted to water deficiency. *SN Appl. Sci.* **2**, 447 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2246-x>

TOLEDO, F. F. & MARCOS FILHO, J. - Manual de sementes: tecnologia da produção. São Paulo, Agronômica Ceres, 1977. 224 p

VERDIER, J. et al. A Regulatory Network-Based Approach Dissects Late Maturation Processes Related to the Acquisition of Desiccation Tolerance and Longevity of *Medicago truncatula* Seeds. *Plant Physiology*, v. 163, n. 2, p. 757–774, 2013.

WANG, B. S. P. - Procurement, handling and storage of tree seed for genetic research. *WORLD CONSULTATION ON TREE BREEDING*, 3 Canberra, 1977

WASZCZAK, Cezary; CARMODY, Melanie; KANGASJÄRVI, Jaakko. Reactive Oxygen Species in Plant Signaling. **Annual Review Of Plant Biology**, [S.L.], v. 69, n. 1, p. 209-236, 29 abr. 2018. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040322>.

ZHANG, Keliang; ZHANG, Yin; SUN, Jing; MENG, Jiasong; TAO, Jun. Deterioration of orthodox seeds during ageing: influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology And Biochemistry**, [S.L.], v. 158, p. 475-485, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.031>.